

ATTACHMENT I

RETAINED AUSTENITE
(1948 Edward DeMille Campbell Memorial Lecture)

By MORRIS COHEN

INTRODUCTION

IN 1925, within two and one-half months after the death of Edward DeMille Campbell, this Society saw fit to memorialize his achievements for all time by inaugurating a series of annual lectures, to be given each year at the National Metal Congress. It is a distinguished honor to be invited to participate in this series, and today I have the privilege of presenting the twenty-third Campbell Memorial Lecture.

It was not my good fortune to know Professor Campbell, except through his many students and prolific writings. Even had I attended the University of Michigan, where he graced the faculty for thirty-five years, our paths could not have crossed in point of time because he died some four years before I was ready to enter college. There are literally two generations separating our metallurgical careers.

On the other hand, I do know that the intervening years have not dimmed the impressive stature of this man, as an inspiring educator, as a versatile investigator and, above all, as a lasting example of indomitable courage. For, if I may remind you, Professor Campbell was only twenty-eight years old when a laboratory experiment exploded in his face, and he lost the sight of both eyes. A. H. White (1)¹ relates that "Ten days later, . . . (Professor Campbell) was back at his desk, a broad white bandage over his eyes, conducting classes and supervising laboratory work." From then on, in total darkness and with deafness descending upon him in later life, he energetically pursued his professional career, organizing new courses, directing research, training students, and publishing no less than seventy-seven papers in the metallurgical and chemical literature.

It is clear from Professor Campbell's writings that he was greatly interested in the constitution and heat treatment of steel. He was particularly concerned with the nature of hardened steel, and

¹The figures appearing in parentheses pertain to the references appended to this paper.

This is the twenty-third Edward DeMille Campbell Memorial Lecture, presented by Dr. Morris Cohen, professor of physical metallurgy, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. The lecture was presented October 27, 1948, during the Thirtieth Annual Convention of the Society, held in Philadelphia.

retained austenite and M_s . Qualitatively, there is good correspondence between these two factors over much wider limits. Table IV lists nine elements in order of their effect on M_s , and it is evident that the same order applies to their effect on austenite retention. As might be expected, the two elements, cobalt and aluminum, which raise M_s , also lower the amount of retained austenite.

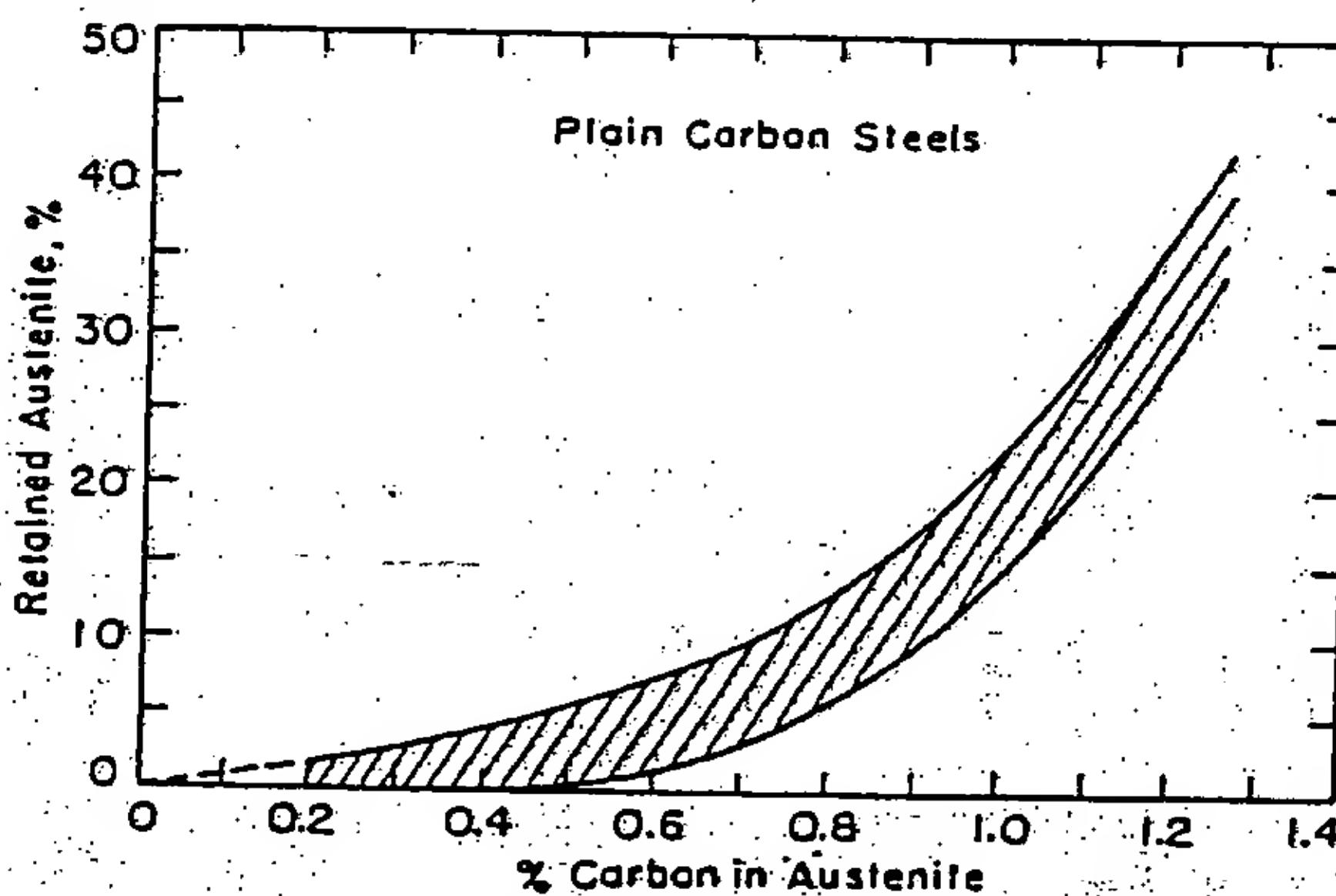


Fig. 15—Effect of Carbon Content on Retained Austenite in Plain Carbon Steels. Austenitized above $A_{\text{c}1}$ and A_{cm} , and quenched in water or brine.

Carbon is, by far, the most potent element of those listed in its effect on austenite retention. The value shown in Table IV is estimated from the slope of the band in Fig. 15 at the 1% carbon level. Of course, all the factors in Table IV are approximations, and should be regarded merely as rough guides. They apply only to the chemistry of the austenite, and not to the composition of the steel as a whole when undissolved carbide or ferrite is present.

Table IV
Relationship Between the Effects of Elements on M_s and on Propensity for Retaining Austenite

Element	Change of M_s per 1% of Element (48)	Change of Retained Austenite* per 1% of Element (49)
Carbon	-540 °F	+50%
Manganese	-60	+20
Chromium	-40	+11
Nickel	-30	+10 (15)
Molybdenum	-20	+9
Tungsten	-20	+8
Silicon	-20	+6
Cobalt	+ 10 (49)	+ 3
Aluminum	+ 30 (49)	- 4

*In presence of 1% carbon.

ATTACHMENT II

REFERENCE 2

著者の略歴

矢島悦次郎
現職 名古屋工業大学教授 工学博士
昭和12年東北大工学部卒
市川理菊
現職 名古屋工業大学教授 工学博士
昭和17年名古屋大学工学部卒
古沢浩一
現職 名古屋工業大学教授 工学博士
昭和21年名古屋大学工学部卒

若い技術者のための
機械・金属材料

¥ 1,300

昭和 42 年 4 月 30 日 発行
昭和 44 年 4 月 30 日 第 4 刷 発行

矢島 悅次郎
市川 理菊
古沢 浩一

発行者 司 忠

発行所 丸善株式会社
郵便番号 103 東京都中央区日本橋通二丁目6番地

て、合金量もおのづから制限がある。Niは鋼に合金して強さをやや増すとともに、焼入硬

14. 低合金特殊鋼

表 14.1 Ni-Cr系およびNi-Cr-Mo鋼のJIS規格

種類	記号	化 学 成 分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
ニッケル鋼	1種	SNC1	0.32~0.40	0.15~0.35	0.50~0.80	0.030以下	0.030以下	1.00~1.50	0.50~0.90
ニッケル鋼	2種	SNC2	0.27~0.35	0.15~0.35	0.35~0.65	0.030以下	0.030以下	2.50~3.00	0.60~1.00
ニッケル鋼 ロム材	3種	SNC3	0.32~0.40	0.15~0.35	0.35~0.65	0.030以下	0.030以下	3.00~6.00	0.60~1.00
ニッケル鋼	4種	SNCM1	0.27~0.35	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030以下	0.030以下	1.60~2.00	0.60~1.00
ニッケル鋼	5種	SNCM2	0.20~0.30	0.15~0.35	0.35~0.60	0.030以下	0.030以下	3.00~3.50	1.00~1.50
ニッケル鋼 モリブデン材	6種	SNCM5	0.25~0.35	0.15~0.35	0.35~0.60	0.030以下	0.030以下	2.50~3.50	0.50~0.70
ニッケル鋼 モリブデン材	7種	SNCM6	0.38~0.43	0.15~0.35	0.70~1.00	0.030以下	0.030以下	0.40~0.70	0.40~0.65
ニッケル鋼 モリブデン材	8種	SNCM7	0.43~0.48	0.15~0.35	0.70~1.00	0.030以下	0.030以下	0.40~0.70	0.40~0.65
ニッケル鋼 モリブデン材	9種	SNCM8	0.36~0.43	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030以下	0.030以下	1.60~2.00	0.15~0.30

構造用特殊鋼は機械の重要な部分に使用する特殊鋼である。したがってこの鋼種に要求される条件としては、(1)降伏強さの大きいこと、(2)粘り強さに富むこと、(3)加工性のよいことなどである。鋼を強くするのに最も有効な元素はCで、Cを多く合金すれば容易に強くすることができますが、その反面粘り強さを失つてもろくなる。構造用鋼のC量は特殊の場合を除いて0.5%程度まで、それ以上C量を増しても強さの増す割合に比べてもろさの増す方が大きくなり、また製造、圧延および機械加工性が低下する。これは特殊元素についても同じことがいいうのであって、適当な特殊元素でも多量合金すれば強くなる反面やはりもろさも著しく増加するから、特殊の場合を除いては合計数%程度が限度になる。したがって構造用特殊鋼としては一般的には低または中炭素の低合金鋼になる。そしてその組成範囲内でなるべく強くて粘り強い鋼にするに最も効果的な方法は、焼入焼もどしの熱処理によって組織全体を均一の焼もどしソルバイト組織にすることである。この点から焼入硬化能の大きいことがこの鋼の大切な条件である。一般構造用鋼として今日最もすぐれているのはNi-Cr鋼、またはNi-Cr-Mo鋼である。

14.1.1 Ni-CrおよびNi-Cr-Mo構造用特殊鋼

Ni-Cr鋼の成分はC 0.25~0.45%、Cr 0.5~1.0%を基準にして、これに用途に応じてNi量を1.0~1.5%、2.5~3.0%、3.0~3.5%の3段階に合金したものに大別され、特殊の用途にはそれに応じて各元素を適当に調整したものが用いられている。表14.1にNi-Cr鋼の組成を示す。ただしJIS番号の20番台のものは後に述べる浸炭用鋼の所で示す。Niは鋼に合金すると炭化物を作らず主としてフェライトに固溶して組織を微細にし、鋼の強さを落さず粘り強さを向上させるにきわめて有効な元素である。しかしNiはその作用がゆるやかで合金量1%以下では効果は少ない。またNiはFeときわめて性質の似た金属であるので、多量加えてもろさを増さないが、合金量が多くなると焼きがもどりにくくなる。また高価な金属であると、Siと同様にセメントサイトを分解して黒鉛化する傾向があるの

化能を幾分増大する元素もあるが、硬化能は次に述べるようにCrを同時に合金することによる合成効果が著しく大きいので、現在単独のNi鋼は一般構造用鋼としては用いられない。なおNiを合金すれば耐食性の増大、低温もろさの抑制および高温加熱によるオーステナイト結晶粒の粗大化防止などにきわめて有効である。

一方Crを鋼に合金すると構造用鋼の組成範囲では、Crは大部分はセメントサイト中に濃縮して存在しており、これは焼入れによってマルテンサイト中に固溶して、マルテンサイトの焼もどしに対する軟化抵抗性を増大するとともに鋼の強さをかなり大きくする。またCrは鋼の焼入硬化能を著しく増大する元素であることはよく知られているが(図13.4参照)、Niの同時合金によるその合成効果はきわめて著しい。図14.1はその一例で、直径1.3および5 inで組成の異なる4種類の鋼を油焼入れした場合の断面の硬さ分布図である。図に見るようNiとCrの合成効果によって焼入性が著しく向上され、大型部品の油焼入れでも中心までよく焼きが入って高い硬さを示す。

Reference 2:

Title: Machine and Metal Material for Young Engineers

Publication: by Maruzen Co. LTD.

Published Date: April 30, 1967

14 Low carbon alloy steel

14.1 Special steel for structural material

14.1.1 Special steel with Ni-Cr and Ni-Cr-Mo structure

Page 175, Lines 6 to 8

On the other hand, if Cr is alloyed to the steel, in the composition range of the steel for structures, most of Cr condenses and exists in the cementite, and it is solid-soluble in a martensite by quenching. So, this will enlarge the strength of steel considerably while increasing softening resistance characteristics over martensite tempering.

ATTACHMENT III

REFERENCE FIGURE

